

554220

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 11 日 (11.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/097865 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01F 6/06, 13/00,
H01L 39/04, H01B 12/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005909
- (22) 国際出願日: 2004 年 4 月 23 日 (23.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-122288 2003 年 4 月 25 日 (25.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND

TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県
川口市本町四丁目 1 番 8 号 川口センタービル Saitama
(JP). アイシン精機株式会社 (AISIN SEIKI CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒4488650 愛知県刈谷市朝日町二丁目 1 番地
Aichi (JP).

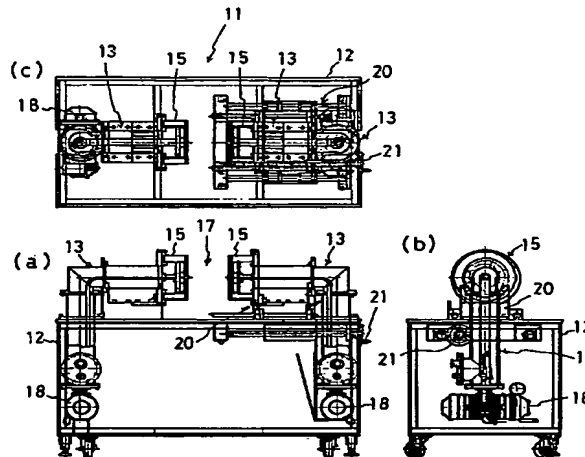
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 岡 徹雄 (OKA,
Tetsuo) [JP/JP]; 〒4740057 愛知県大府市共和町茶
屋 4 7 番地 1 8 9 Aichi (JP). 能登 宏七 (NOTO,
Koshichi) [JP/JP]; 〒9813212 宮城県仙台市泉区長
命ヶ丘三丁目 1 9 番 2 7 号 Miyagi (JP). 横山 和哉
(YOKOYAMA, Kazuya) [JP/JP]; 〒0200051 岩手県盛
岡市下太田下川原 1 2 番地 1 ライフマンション
B 1 0 5 Iwate (JP).

[続葉有]

(54) Title: SUPERCONDUCTING PERMANENT MAGNET

(54) 発明の名称: 超電導永久磁石装置



(57) Abstract: A strong magnetic field generator generating a wide magnetic field space by exciting bulk superconductors as pseudo permanent magnets. The superconducting permanent magnet (11) comprises magnetic pole assemblies (13) each holding a magnetic pole (22) formed by arranging a plurality of superconducting bulk bodies (21) side by side in a vacuum vessel (15) in a thermally insulated state, a frame (12) holding at least the magnetic pole assemblies (13) in a desired orientation and movable while the magnetic pole assemblies (13) are mounted thereon, refrigerating sections (29) of refrigerating machines (18) fixed to the magnetic pole assemblies (13), and vacuum pumps fixed to the magnetic pole assemblies (13) through vacuum piping. The superconducting permanent magnet (11) is characterized in that each magnetic pole (22) in the vacuum vessel (15) is secured through a heat insulating resin based structural material (23) to the flange of the magnetic pole assembly (13) to which the vacuum vessel (15) is secured.

(57) 要約: バルク超電導体を励磁して擬似永久磁石とし、広い磁場空間を形成する強磁場発生装置を提供することを課題とする。本発明の超電導永久磁石装置 11 は、超電導バルク体 21 を複数個並列に配置した磁極 22 を真空容器 15 内で断熱状態に保持する磁極アッシ 13 と、少なくとも複数の磁極アッシ 13 を所望の向きに保持すると共に、磁極アッシ 13 を搭載した状態で移動可能な架台 12 と、前記磁極アッシ 13 に取り付

[続葉有]



WO 2004/097865 A1



(74) 代理人: 特許業務法人共生国際特許事務所 (KYOSEI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1070052 東京都港区赤坂三丁目8番14号遠山ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

けられた冷凍機18の冷凍部29と、真空配管を介して磁極アッシ13に取り付けられた真空ポンプとから構成され、前記真空容器15内の磁極22は、真空容器15が固定される磁極アッシ13のフランジに断熱性を有する樹脂系構造材23で固定されていることを特徴とする。

明 細 書

超電導永久磁石装置

技術分野

- 5 本発明は超電導バルク体をその超電導状態において磁場を捕捉させ、磁石として利用する磁場発生装置に関する。

背景技術

- 10 従来、強磁場空間を得る方法として、超電導バルク体を冷凍機の冷却部に伝熱体を介して冷却し、パルス磁場によって励磁する装置が特許文献 1 に開示されている。この装置では単一の超電導バルク体で磁極を構成しており、これを対向させて磁場領域空間を形成させたものである。しかし、磁極間の利用可能な空間に出る磁場領域が狭いという問題があった。

- 15 前記超電導バルク体の合成は特殊な熱処理によって粗大な結晶を成長させるものであるため、製造できる寸法には限界があった。たとえば直径 100mm 程度の大面積をもち、結晶の c 軸方向が概略そろった超電導バルク体を合成することは極めて困難である。従って、単一の超電導バルク体の形状を大きく合成して、広い磁場空間を得ようとすることは極めて困難であった。このため従来の装置では利用可能な大きな磁場領域を得ることができなかった。

- 20 また従来の問題として、超電導バルク体の磁極が収容された真空容器と、冷凍装置が一体の装置とされているため、磁極を超電導コイルの静磁場によって励磁する場合に、冷凍機を構成するモータが、励磁のための磁場に影響されて正常な運転が妨げられ、モータが回転できずに止まってしまい、冷却できないという問題があった。

- 25 特許文献 2 には、超電導バルク体を並列に配置した磁極構造をもち、冷凍機の冷却部によって冷却され、励磁の後に磁石として機能する非対称超電導磁石装置が開示されている。この装置では超電導バルク体が対向して配置されていないために、磁場発生面に垂直な方向での距離に対する磁場の減衰が著しく、利用できる磁場空間が狭いという問題があ

った。

このように、単一面内に複数個配列した磁極を構成した場合でも磁極面に垂直方向の磁場の距離に対する減衰は著しいため磁極上から離れた位置で強磁場を維持することは極めて困難であった。いずれの従来技術においても超電導バルク体によって形成される磁場

5 空間が狭いことが問題であった。

本発明は、上記の従来技術に共通する問題点に鑑みてなされたもので、バルク超電導体を励磁して擬似永久磁石とし、広い磁場空間を形成する強磁場発生装置を提供することを課題とする。

【特許文献 1】

10 特開 2001-68338 号公報（第 2、3、4 頁、図第 1）

【特許文献 2】

特開平 11-97231 号公報（第 2 頁、図第 1）

発明の開示

15 前記課題を解決するため、本発明の超電導永久磁石装置は、真空容器内に断熱状態で保持され、超電導状態で磁場を捕捉して磁石となる超電導バルク体よりなる磁極を、磁場空間を形成するように、少なくとも一対の該真空容器をそれぞれの磁極がその発生する磁場の影響しあう距離に配置される超電導永久磁石装置において、

前記真空容器を真空状態にする真空装置と、超電導バルク体を超電導遷移温度以下に
20 冷却して超電導状態とする冷却装置と、その冷却過程或いは冷却後に超電導コイルの発生する磁場或いは銅コイルによるパルス磁場によって超電導バルク体を励磁する着磁コイルとを含み、前記磁極のそれぞれは、複数個の超電導バルク体が磁場発生面内に並列に配置されて構成されていることを特徴とする。

この発明によれば、複数個の超電導バルク体を並列することによって磁極面積が拡大
25 され、さらに一対の磁極が対向されることで、磁極に垂直方向の磁場の距離に対する減衰を抑制することができる。従って、強磁場の空間を広げることが出来る。

また、一対の対向させた磁極を複数組み合わせることでさらに広い磁場空間を形成すること

もできることは勿論である。

該磁極の励磁法のひとつは銅コイルを用いたパルス着磁法である。該磁極を包含する真空容器の外部或いは内側にソレノイド（円筒）状或いはトロイダル（渦巻き）状の銅コイルを設置し、該磁極をソレノイド上ならその内側に、トロイダル状ならその表面に近接させるか2個のトロイダルコイル間にはさむように配置する。これらの銅コイルにコンデンサからの放電電流を導いて強いパルス状の磁場を印加して超電導体を励磁するものである。銅コイルは水冷されたもの、或いは液体窒素で冷却された構造のものである場合もあり、発熱を抑えることで小型化するよう工夫される。また、銅コイルの代りに超電導コイルが使われる場合もある。

10 この発明の磁極は大型となる、そのため、従来のパルス着磁による励磁法では、これを内包する着磁コイルが大型になるため、コンデンサバンクも大型にならざるを得ない。そこで、大型の超電導磁石を用いて、その超電導コイル内で磁場中冷却することで、励磁を行う方法が望ましく、5 T以上の磁場を励磁することが可能で、強力な大型超電導永久磁石を実現することができる。

15 また、前記磁極のそれぞれは、複数個の超電導バルク体が、円筒又は球面を形成するような曲面に沿う面に並列に配置されていることを特徴とする。

 この発明によれば、複数個の超電導バルク体を並列に配置された磁場発生面が円周状或いは球面状に或いは円筒又は球面に沿うように形成されていることから、互いに対向させた磁極の間の磁場空間を円弧或いは球面状として、各種の磁気応用の適用でき、その利用範囲を広くすることができる。

20 また、前記並列配置した磁極は、複数個の円柱状或いは直方体であって、結晶のc軸方向が概略そろった超電導バルク体を該c軸に垂直な表面を同一平面に揃え、互いに近接して並列配置したことを特徴とする。

 この発明によれば、均一な磁気分布とすることができ、広い範囲に均質な強い磁場空間を得ることができる。

25 また、前記磁極は、断熱的な樹脂系構造部材で真空容器内部に保持されていることを特徴とする。

この発明によれば、対向配置された磁極間に働く応力に耐える断熱保持状態を可能とする。すなわち、超電導バルク体が5 Tに励磁されて対向配置された場合の磁極間に働く強大な引張り力、或いは反発力（異極に励磁した場合は引張り力、同極では反発力）に耐える保持構造を備えることができる。

- 5 詳しくは、真空中で断熱状態に磁極を保持するため強度を有する断熱的な樹脂系構造部材を用い、磁極を真空容器内部に固定する。具体的な実施の形態としては、ガラス繊維によって強化された樹脂材料（FRP）を用いる。

- さらに詳しくは、前記樹脂系構造部材の形状は板状で、磁極の周囲に配し、真空容器の外部につながる部品間にねじで固定する。FRPは低温でも強度の劣化が少ないために、
10 応力方向に垂直な断面が5 mm×50 mmの板を4枚用いれば最大500 kgの引力と100 kgの反発力に耐えることができる。しかも断熱性能に優れており、熱侵入を抑制しながら、磁極間に働く応力に十分に耐える性能を発揮する。

- また、前記磁極は、冷凍機の冷却部に直接或いは伝熱材を介して熱的に接触する構成、或いは液体窒素、液体ヘリウム、ガス窒素、ガスヘリウムのいずれかを介して冷凍機の冷
15 却部に間接的に接触する構成であることを特徴とする。

- この発明によれば、冷凍機を用いることで、液体窒素温度だけでなく、より超電導性能に優れる低温域で優秀な捕捉磁場性能を発揮することができる。冷却は超電導バルク体を直接、或いは間接に冷凍機の冷凍部に接触させて冷却するため、従来のように液体ヘリウムのみの移送による冷却よりはるかに操作性に優れた簡便なシステムとすることができる。
20 る。

- また、前記冷凍機は、GM式、パルス管式、スターリング式、ソルベー式或いはそれらを複数種組み合わせた構成で、絶対温度4 Kないし90 Kの温度範囲に前記磁極を冷却保持する極低温冷凍機であって、磁極を励磁する際に、励磁のための磁場によって冷凍機を構成する強磁性部材がその機能を妨げられない位置まで該磁極から隔離して配設されて
25 いることを特徴とする。

この発明によれば、冷凍機を構成する強磁性部材（モータ部など）が磁極の励磁過程で、影響を受けることが防止される。励磁用の超電導磁石の発生する磁場の外に冷凍機の

モータ部分を隔離することで、冷凍機は健全な冷却性能を発揮することができる。具体的には、スターリング（S T）パルス式冷凍機の場合、1 T以下の磁場となるように隔離して配置した構成とすることによりモータがその磁場に影響されない。

また、前記磁極は、真空容器中に設けられた伝熱部材で冷凍機の冷凍部に連結され、
5 外部と断熱を保った状態で冷却される構造とされていることを特徴とする。

この発明によれば、真空容器中の離れた位置に配置された冷凍部と磁極間を効率よく熱伝導させて磁極を冷却することができる。具体的には、冷凍機の冷凍部から磁極までを熱伝導のよい銅の伝熱体を通じて連結することで効率よく磁極を冷却することができる。

また、前記超電導バルク体は、バルク体の周囲を補強すると共にバルク体の発熱を放
10 散させるため、ステンレススチール、アルミニウム或いはその合金、銅或いはその合金、合成樹脂、繊維強化樹脂のうちの一つ或いは複数の材質よりなるリングを嵌合し、接着剤或いは樹脂系充填剤、粒子分散型樹脂、繊維強化樹脂によってバルク体とリングを密着させた構成をもつことを特徴とする。

この発明によれば、超電導バルク体がリングによって補強され、強磁場の捕捉に耐え
15 る機械的強度を保つことができる。また、超電導バルク体に内在する微小な亀裂に水分が入り込み、内部が劣化することを防ぐことができる。

また、前記超電導バルク体は、 $REBa_2Cu_3O_y$ で示される化合物を主成分とし、ここにREはイットリウム、サマリウム、ネオジム、ユーロピウム、エルビウム、イッテルビウム、ホロミウム、ガドリニウムのうち一種或いは複数の元素からなり、第二相とし
20 て RE_2BaCuO_5 で示される化合物を50モル%以下含有し、銀を30重量%以下含有し、添加物として白金またはセリウムをゼロないし10重量%以下含有し、種結晶を用いて粗大な結晶組織を成長させたものであることを特徴とする。

この発明によれば、強力なピン止め点を無数に含み、且つ捕捉磁場特性の強い方向にそろった結晶が大きく成長した超電導バルク体となり、また、着磁の際の電磁力に耐える
25 機械的強度を備えた超電導バルク体とすることができる。

また、前記真空容器は、その真空容器に接続されたダイアフラムポンプ、油回転ポンプ、ターボ分子ポンプ、油拡散ポンプ、ドライポンプ、クライオポンプのうちひとつ或い

は複数を組み合わせた構成の真空装置によって $1 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ 以下に減圧され、内部に保持された前記磁極を真空断熱していることを特徴とする。

この発明によれば、粗引き用真空ポンプと、高真空ポンプを組み合わせ、効率よく断熱効果を実現できる状態に真空容器内を保つことができる。

5 本発明の超電導永久磁石装置は、超電導バルク体を複数個並列に配置した磁極を真空容器内で断熱状態に保持する磁極アッシと、少なくとも複数の磁極アッシを所望の向きに保持すると共に、磁極アッシを搭載した状態で移動可能な架台と、前記磁極アッシに取り付けられた冷凍機の冷凍部と、真空配管を介して磁極アッシに取り付けられた真空ポンプとから構成され、

10 前記真空容器内の磁極は、真空容器が固定される磁極アッシのフランジに断熱性を有する樹脂系構造材で固定されていることを特徴とする。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の超電導永久磁石装置第1の実施の形態の全体構成を示し、(a)は
15 正面図、(b)は側面図、(c)は平面図であり、

第2図は、本発明の磁極アッシ13の構造を示す断面図で、(a)は一部断面を示す正面図、(b)は側面図であり、

第3図は、複数の超電導バルク体を並列に配置した磁極の構成を示す図で、(a)は超電導バルク体が9個の場合の平面図、(b)は(a)のA-A断面図、(c)は(a)のB-B断面図であり、
20

第4図は、複数の超電導バルク体を並列に配置した磁極の構成を示す図で、(a)は超電導バルク体が4個の場合の平面図、(b)は(a)のA-A断面図、(c)は(a)のB-B断面図であり、

第5図は、複数の超電導バルク体を並列に配置した磁極の構成を示す図で、超電導バルク体が7個の場合の平面図であり、
25

第6図は、本発明に使用する超電導バルク体の補強構造を示し、(a)はその平面図、(b)は側面の断面図を示す、

第7図は、本発明の磁極アッシの励磁方法の説明図であり、

第8図は、本発明の磁極の発生する磁場分布を示すグラフであり、

第9図は、本発明の対向する磁極の発生する磁場分布を示すグラフであり、

第10図は、本発明の第2の実施の形態の磁極アッシを示し、(a)は正面図、(b)

5 は側面図であり、

第11図は、本発明の第3の実施の形態の磁極アッシの要部を示す断面図であり、

第12図は、本発明の磁極に並列配置される超電導バルク体21の配置を示し、(a)は
10 一列配置の平面図、(b)は行列配置の平面図、(c)は立方体の超電導バルク体を用いた平面図、(d)は六角柱形状の超電導バルク体を用いた平面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下本発明の実施の形態を詳細に説明する。第1図は本発明の超電導永久磁石装置第1の実施の形態の全体構成を示し、(a)は正面図、(b)は側面図、(c)は平面図である。

超電導永久磁石装置11は、架台12の上に左右1対の磁極アッシ13が対向して配
15 置され、磁極アッシ13先端の左右の真空容器15、15の間の磁場空間17に磁場が形成される。

磁極アッシ13は、真空容器15と、真空筒31a、31b、31cが密閉接続されており、それぞれの磁極アッシ13にはその下部の真空筒31cにSTパルス管冷凍機18が取り付けられており、真空容器15の中の磁極(第2図に示す)を所定の温度に冷却
20 する。

一方の磁極アッシ13には移動機構20が取り付けられており、ハンドル21を操作することにより移動可能となっており、磁極間の距離を調整することができる。この構成により、対向する真空容器15、15によって形成される磁場空間17に広くて強い磁場が形成される。

25 第2図は、本発明の磁極アッシ13の構造を示す断面図で、(a)は一部断面を示す正面図、(b)は側面図である。複数個の超電導バルク体21を並列に配置して固定保持した磁極22は、断熱的な樹脂系構造部材23を用いて固定フランジ24に固定されて真空容

器 1 5 の中に保持されている。

複数の超電導バルク体 2 1 はいずれもその c 軸がほぼ一方向に揃った擬似単結晶に製造されて、その捕捉磁場分布は円錐形に近い。これをその c 軸方向を真空容器表面 2 5 に向けて同一平面上に揃えて配置されて磁極 2 2 が構成されている。

- 5 ここで、超電導バルク体 2 1 の端面から真空容器表面 2 5 までの距離は 3 mm から 20 mm に設計することにより、超電導バルク体 2 1 の発生する磁場を有効に真空容器表面 2 5 から外部に放射する構造にしてある。

- 10 磁極アッシ 1 3 の下部の真空筒 3 1 c には真空フランジ 2 6 を備え、この真空フランジ 2 6 に取り付けられた真空ポート 2 7 と真空配管を通じて真空ポンプが接続される。磁極アッシ 1 3 はその内部をこの真空ポート 2 7 に接続された真空ポンプ（図示せず）によって 1×10^{-1} Pa（パスカル）以下の圧力まで減圧され、内部の部位は真空断熱が保たれる。真空ポート 2 7 には内部の温度計と磁場センサ（ホールセンサ）からの信号を取り出すセンサ電極 2 8 も取り付けられている。

- 15 真空筒 3 1 c には ST パルス冷凍機 1 8 が、その冷凍部 2 9 を真空筒 3 1 c 内部に密閉状態となるように取り付けられている。ST パルス冷凍機 1 8 は 100 V の AC 電源で駆動することができ、その冷凍部 2 9 は 60 K に冷却される。

冷凍部 2 9（コールヘッド）と真空容器 1 5 内の磁極 2 2 は伝熱体 3 0 でつなぐれ冷凍部 2 9 の冷却作用を熱伝導する。

- 20 ここで、伝熱体 3 0 は、真空筒 3 1 に収納されて外部とは真空断熱が保たれており、効率よく磁極 2 2 を冷却することができる。また、伝熱体 3 0 は熱伝導を考慮した銅製で、金メッキによって耐食性を与える一方、外部からの熱輻射を抑制する。

- 25 超電導バルク体が励磁されて対向配置されると磁極 2 2 間には強大な引張り力、或いは反発力が働く。異極に励磁した場合は引張り力、同極では反発力である。従って真空中で複数の超電導バルク体を備えた磁極 2 2 を保持するためには断熱性のある強度部材で磁極 2 2 を強固に固定する必要がある。以下その磁極の固定構造を図を用いて詳細に説明する。

第 3 図、第 4 図、第 5 図は、複数の超電導バルク体 2 1 を並列に配置した磁極 2 2 の

構成を示す図である。第3図(a)は超電導バルク体が9個の場合の平面図、(b)は(a)のA-A断面図、(c)は(a)のB-B断面図である。第4図(a)は超電導バルク体が4個の場合の平面図、(b)は(a)のA-A断面図、(c)は(a)のB-B断面図である。第5図は超電導バルク体が7個の場合の平面図である。尚、平面図第3図(a)、第4
5 図(a)、第5図は、ホルダ板33の一部断面を示した平面図である。

第3図、第4図、第5図に示すように、本発明では、磁極22を断熱的な樹脂系構造部材23を用いて真空容器を固定する真空フランジ24に固定している。具体的にはその樹脂系構造部材23は板状の繊維強化プラスチック(FRP)を用い、磁極22の周囲に4本を配し、真空フランジ24との間でねじで固定する。この板状のFRPは最大500
10 kgの引力と100kgの反発力に耐えるもので、磁極22間の力に十分に耐える性能である。

第3図、第4図、第5図において、磁極台32は主に銅でできており、熱伝導を考慮してある。さらに金めっきが施してあり、耐食性を与える一方、外部からの熱輻射を抑制する。超電導バルク体21は、その背面にインジウム箔を介して、ホルダ板33によって
15 ねじ34で磁極台32に固定されて、伝熱冷却される。磁極台32には4箇所樹脂系構造部材23が取り付けられて、真空フランジ24にねじで固定されている。

第6図は本発明に使用する超電導バルク体の補強構造を示し、(a)はその平面図、(b)は側面の断面図を示す。超電導バルク体21は、冷却による熱膨張、磁場捕捉による電磁力によって破損しないよう補強するため、ステンレスリング35の内部に低温用樹脂系充
20 填接着剤36によって埋め込まれ、超電導バルク磁石37を構成する。

このように、超電導バルク体21は直接、第3図に示すような並列配置に構成されるより、実質的には第6図に示す超電導バルク磁石37の構成を単位として並列配置される方が好ましい。

低温用樹脂系充填接着剤36によって超電導バルク体21を被覆することは、結露などによる超電導バルク体21内部への水分の侵入を防ぐ効果をもたらす。また、リングはステンレスの他に、アルミニウムとその合金、銅或いはその合金、合成樹脂、繊維強化樹脂を用いても類似の効果を呈する。
25

また、低温用樹脂系充填接着剤 36 としては接着剤或いは樹脂系充填剤、粒子分散型樹脂、繊維強化樹脂などを用いることができる。さらに、ステンレスリング 35 と超電導バルク体 21 の長さが一致しない場合は、直径が超電導バルク体 21 にほぼ一致し、厚さ 0.2 mm から 5 mm のステンレス板 38 を超電導バルク体の背面に同様にして埋め込んでもよい。

第 7 図は、本発明の磁極アッシの励磁方法の説明図である。図を参照して、本発明の超電導永久磁石装置の一実施の形態の励磁方法を説明する。

まず、磁極アッシ 13 を超電導磁石 39 のボア内に挿入して固定する。(ここで使用したボア径は 300 mm であった。) このとき超電導コイル 40 のほぼ中央に超電導バルク体 21 がくるように調整する。ただし、より低い磁場、或いは超電導コイルの傾斜磁場分布を超電導バルク体 21 に励磁する場合はこの限りではない。

次に、真空ポンプを運転して磁極アッシ 13 の内部を真空断熱状態とする。

次に超電導磁石 39 を運転して所定の磁場、たとえば 5 T (テスラ) の磁場を発生させる。S T パルス冷凍機 19 を運転して磁極を超電導バルク体 21 の臨界温度以下に冷却する。この機器の場合は 60 K まで冷却されたが、GM サイクル冷凍機なら 40 K、GM パルス管冷凍機なら 50 K 程度にまで冷却される。

超電導遷移温度以下の所定の温度まで冷却されると、超電導磁石 39 の磁場を準静的に下げ、ゼロ磁場まで戻す。この際に超電導バルク体 21 が磁場を捕捉して、励磁が完了する。

超電導磁石 39 の静磁場は冷凍機 19 のモータの運転に悪影響を及ぼし、ボア近傍にモータを配置するとその回転が止まってしまう。冷凍機 19 のボイスコイル型モータは磁性体を用いて磁気回路を形成しているが、超電導磁石 39 の強磁場がこれを乱す問題があった。

そこで、本発明では、超電導磁石の磁場が深刻な影響を及ぼさない距離まで、モータを隔離して配置するため真空筒 31 を所定長の長さに形成している。モータへの磁場印加の実験を行った結果、モータの回転に支障のない 1 T 以下の磁場強度の領域は、超電導磁石 39 の端部からボアの軸に対し垂直方向に 500 mm 以上離れた位置にモータを配置し、

磁場の影響を最小限に食い止めるように磁極アッシ 13 の真空筒 31 が延長されている。

このようにして 5 T の磁場で励磁された磁極 22 をもつ磁極アッシ 13 は超電導磁石 39 から引き出され、架台 12 に取り付けられる。同様に対極となる磁極アッシ 13 も励磁されて、同様に架台 12 に取り付けられる。これら 2 極の大型の対向した磁極により広い空間の磁場空間を発生することができる。

対向する磁極アッシ 13 の一方を、架台 12 上の移動機構 20 に取り付けることにより、磁場空間 17 の磁場強度を磁極アッシの移動によって変化させることができる。(第 1 図参照)

第 8 図は、一方の磁極の発生する磁場分布を示すグラフである。詳しくは、7 個の超電導バルク体が並列配置された磁極 22 を内包する真空容器 16 の磁場分布をその真空容器表面においてホールセンサを走査して測定した結果を示す。縦軸に測定された磁場の強度 B_z を示し、磁極 22 に垂直な方向のみを測定した結果である。磁極 22 の表面から真空容器 16 の表面 25 までの距離は 20 mm である。

図に示すように 7 個の超電導バルク体の発生する磁場が正確に測定されている。ここで、中央のピーク 41 はガドリニウム系超電導バルク体で、その磁極 22 の表面で 3.3 T を観測した。20 mm 離れた位置での磁場強度は 0.7 T である。その他の超電導バルク体もそれぞれの捕捉磁場性能を反映した性能に励磁されている。中央から離れた 0.6 T の 2 本のピーク 42, 43 はサマリウム系、0.3 T 程度の 4 本のピークはイットリウム系超電導バルク体から発生した磁場であり、その実測値である。

磁極 22 の励磁は超電導磁石 39 による静磁場着磁のほか、パルス着磁によってもよい。ただし、並列配置して大型の磁極 22 とその真空容器を内包できる着磁コイルはその内径が大きくなるため、5 T (テスラ) 級以上の励磁をねらうとコンデンサの規模が大きくなるため、あまり簡便な方法とは言えず、強磁場の発生は困難となる。しかし、比較的弱い 3 T 程度の励磁には有効な方法である。

第 9 図は、対向する磁極の発生する磁場分布を示すグラフである。詳しくは、対向する 7 個の超電導バルク体が並列配置された磁極 22 を異極に励磁して組み合わせた場合の真空容器間の磁場空間 17 に発生する磁場分布の計算値を示す。第 3 図 (a) 或いは第 5

図の超電導バルク体の並列配置平面図でB-B面で示す位置の計算値である。

それぞれの磁極22から発生した磁場はその真空容器15表面で分散した磁場分布を持ち、最大ピーク44、45、46が現れる。これらが磁極22に構成される超電導バルク体21（A-B面に現れる3個の超電導バルク体21）に対応する。この磁極22の対向する磁極にも同様の磁場分布が現れ、これらはお互いに干渉しあって増大し、第7図に示す30mmの巾をもった磁場空間17に強磁場空間を作り出す。この磁場空間中であらゆる強磁場応用が可能になる。

磁場は対向する真空容器15、15を同極とすることもできる。対向する磁極が同極に励磁されると、第7図の磁場分布は著しく異なったものになる。向かいあう磁極から発生する磁場は互いに反発し、その距離の中央で軸方向とは垂直な方向に急激に方向を変える。このため、対向する磁極が影響しあう範囲にある場合の磁場分布は、真空容器表面内の方向の磁場強度が強くなる。

次に、本発明の第2の実施の形態を説明する。第10図は、本発明の第2の実施の形態の磁極アッシを示し、(a)は正面図、(b)は側面図である。第1の実施の形態と異なり、真空筒31は冷凍機19のモータまで伸びず、冷凍部29は冷凍機19から隔離されて配置される。この間を細管48でつなぐことによって冷却部29を冷却し、第1の実施の形態と同じ効果を得るものである。

次に第3の実施の形態を説明する。第11図は、第3の実施の形態の磁極アッシの要部を示す断面図である。対向する磁極22は必ずしも同一面内に厳密に揃っている必要はなく、超電導磁石39の発生する磁場によって有効に励磁できればよい。

このため、磁極22を構成する超電導バルク体21の磁場発生面49は緩やかに湾曲させて、円筒又は球面を形成するような曲面に沿うように配置されてもよい。この場合は対向する磁場分布は幾分磁場空間17の中央に向き、たとえば回転機の電機子を磁場空間17内に配置して機器を構成することもできる。

次に第4の実施の形態を説明する。第12図は、磁極に並列配置される超電導バルク体21の配置を示し、(a)は一列配置の平面図、(b)は行列配置の平面図、(c)は直方体の超電導バルク体を用いた平面図、(d)は六角柱形状の超電導バルク体を用いた平面図

である。

磁極 2 2 を構成する超電導バルク体 2 1 の配置は必ずしも対称性のよい構造である必要は無く、第 1 2 図 (a) に示すように複数個を 1 列、または第 1 2 図 (b) のように行列の形状に配置することができ、この磁極 2 2 を一対、対向させて各々の磁場の影響が及ぶ距離に対向するように配置することができる。

この場合も並列された超電導バルク体 2 1 による磁極 2 2 の単極より、対向した場合の方が磁極間の広い空間に強磁場を発生することができる。

超電導バルク体 2 1 を円柱状とせず、直方体であっても同様の効果があり、これを第 1 2 図 (c) に示す。また、超電導バルク体 2 1 を六角柱の形状に、すなわち亀甲状に加工し、これをたとえば 7 個組み合わせることで平面に構成することも可能である。第 1 2 図 (d) にその例を示す。

この磁極を異極に着磁し対向配置した場合、第 9 図に示したような磁場分布よりさらに均一な磁場分布が得られ、広い範囲に均質な強磁場空間 1 7 が得られる。或いは同極に着磁し対向配置した場合、磁極面に垂直方向の磁場強度が、他の場合より、たとえば第 4 図 (b) に示す配置の場合よりさらに強くなり、しかも均質にすることができる。

以上述べたように、超電導バルク体による磁極を新たなこの発明によって構成することで、画期的な強磁場発生装置を提供することができる。

産業上の利用可能性

本発明の超電導永久磁石装置によれば、従来の単一の超電導バルクを備えた超電導永久磁石装置に対し強力且つ有効な磁場空間を増大することができる。また、磁場中冷却によって励磁するため、パルス着磁に比べて強磁場の励磁が可能である。

さらに、小型冷凍機を選べば、冷凍機を商用電源ではなく、無停電電源などの移動式、搭載型電源による駆動ができる。このため、本装置によって発生される磁場は、屋内に設置された機器のみならず、屋外での利用が可能である。また、励磁してから、磁場発生装置全体を車載して、目的地まで移動させることが容易となる。

請 求 の 範 囲

1. 真空容器内に断熱状態で保持され、超電導状態で磁場を捕捉して磁石となる超電導バルク体よりなる磁極を、磁場空間を形成するように、少なくとも一對の該真空容器をそれぞれの磁極がその発生する磁場の影響しあう距離に配置される超電導永久磁石装置において、
前記真空容器を真空状態にする真空装置と、超電導バルク体を超電導遷移温度以下に冷却して超電導状態とする冷却装置と、その冷却過程或いは冷却後に超電導コイルの発生する磁場或いは銅コイルによるパルス磁場によって超電導バルク体を励磁する着磁コイルとを含み、前記磁極のそれぞれは、複数個の超電導バルク体が磁場発生面内に並列に配置されて構成されていることを特徴とする超電導永久磁石装置。
2. 前記磁極のそれぞれは、複数個の超電導バルク体が、円筒又は球面を形成するような曲面に沿う面に並列に配置されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の超電導永久磁石装置。
3. 前記磁極は、複数個の円柱状或いは直方体であって結晶のc軸方向が概略そろった超電導バルク体を、該c軸に垂直な表面を同一平面に揃え、互いに近接して並列配置したことを特徴とする請求の範囲第1項または第2項記載の超電導永久磁石装置。
4. 前記磁極は、断熱的な樹脂系構造部材で真空容器内部に保持されていることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
5. 前記磁極は、冷凍機の冷却部に直接或いは伝熱材を介して熱的に接触する構成、或いは液体窒素、液体ヘリウム、ガス窒素、ガスヘリウムのいずれかを介して冷凍機の冷却部に間接的に接触する構成であることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
6. 前記冷凍機は、GM式、パルス管式、スターリング式、ソルベー式或いはそれらを複数種組み合わせた構成で、絶対温度4 Kないし90 Kの温度範囲に前記磁極を冷却保持する極低温冷凍機であって、磁極を励磁する際に、励磁のための磁場によって冷凍機を構成する強磁性部材がその機能を妨げられない位置まで該磁極から隔離して配設されていることを特徴とする請求の範囲第5項記載の超電導永久磁石装置。

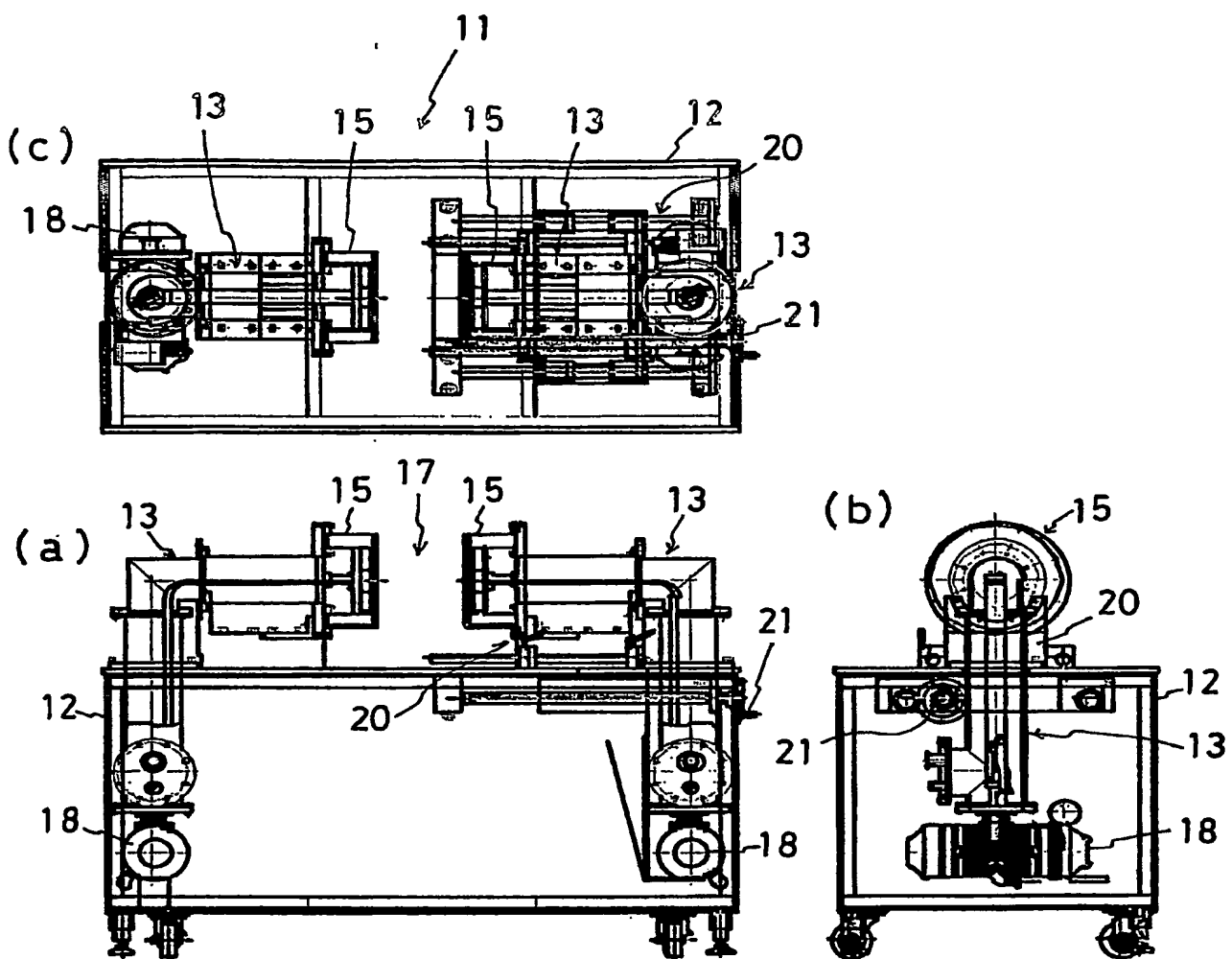
7. 前記磁極は、真空容器中に設けられた伝熱部材で冷凍機の冷凍部に連結され、外部と断熱を保った状態で冷却される構造とされていることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
8. 前記超電導バルク体は、バルク体の周囲を補強すると共にバルク体の発熱を放散させるため、ステンレススチール、アルミニウム或いはその合金、銅或いはその合金、合成樹脂、繊維強化樹脂のうちの一つ或いは複数の材質よりなるリングを嵌合し、接着剤或いは樹脂系充填剤、粒子分散型樹脂、繊維強化樹脂によってバルク体とリングを密着させた構成をもつことを特徴とする請求の範囲第1項または第2項記載の超電導永久磁石装置。
9. 前記超電導バルク体は、 $REBa_2Cu_3O_y$ で示される化合物を主成分とし、ここにREはイットリウム、サマリウム、ネオジウム、ユーロピウム、エルビウム、イッテルビウム、ホロミウム、ガドリニウムのうち一種或いは複数の元素からなり、第二相として RE_2BaCuO_5 で示される化合物を50モル%以下含有し、銀を30重量%以下含有し、添加物として白金またはセリウムをゼロないし10重量%以下含有し、種結晶を用いて粗大な結晶組織を成長させたものであることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
10. 前記真空容器は、その真空容器に接続されたダイアフラムポンプ、油回転ポンプ、ターボ分子ポンプ、油拡散ポンプ、ドライポンプ、クライオポンプのうちひとつ或いは複数のを組み合わせた構成の真空装置によって $1 \times 10^{-1} Pa$ 以下に減圧され、内部に保持された前記磁極を真空断熱していることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。

補正書の請求の範囲

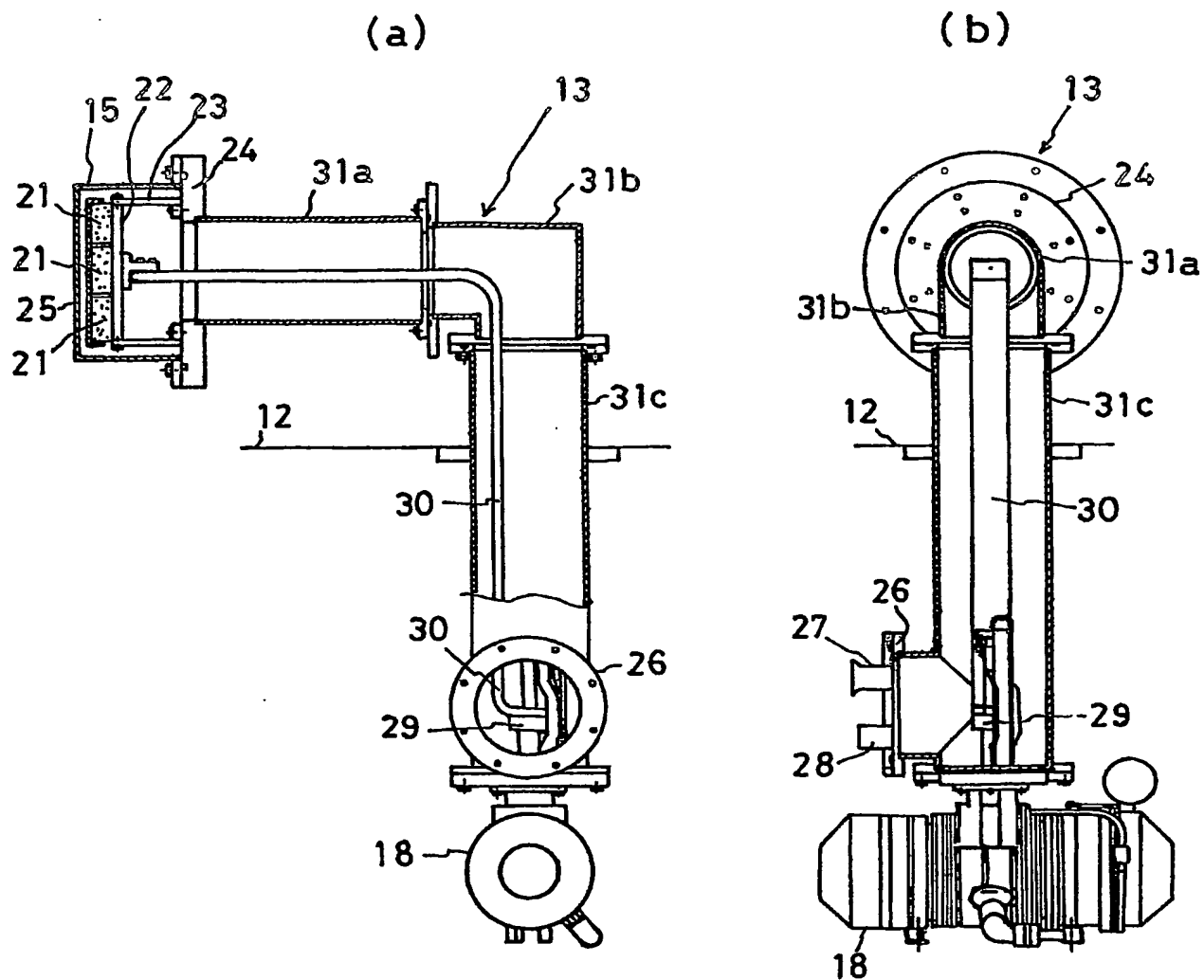
[2004年8月25日(25.08.04)国際事務局受理 : 出願当初の請求の範囲1は補正された。他の請求の範囲は変更なし。(1頁)]

1. 真空容器内に断熱状態で保持され、超電導状態で磁場を捕捉して磁石となる超電導バルク体よりなる磁極を、磁場空間を形成するように、少なくとも一対の該真空容器をそれぞれの磁極がその発生する磁場の影響しあう距離に配置される超電導永久磁石装置において、
前記真空容器を真空状態にする真空装置と、超電導バルク体を超電導遷移温度以下に冷却して超電導状態とする冷却装置と、その冷却過程或いは冷却後に超電導コイルの発生する磁場或いは銅コイルによるパルス磁場によって超電導バルク体を励磁する着磁コイルとを含み、前記磁極のそれぞれは、複数の超電導バルク体が、より広い磁場空間を形成するように、磁場発生面内に並列に配置されて構成されていることを特徴とする超電導永久磁石装置。
2. 前記磁極のそれぞれは、複数の超電導バルク体が、円筒又は球面を形成するような曲面に沿う面に並列に配置されていることを特徴とする請求の範囲第1項記載の超電導永久磁石装置。
3. 前記磁極は、複数の円柱状或いは直方体であって結晶のc軸方向が概略そろった超電導バルク体を、該c軸に垂直な表面を同一平面に揃え、互いに近接して並列配置したことを特徴とする請求の範囲第1項または第2項記載の超電導永久磁石装置。
4. 前記磁極は、断熱的な樹脂系構造部材で真空容器内部に保持されていることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
5. 前記磁極は、冷凍機の冷却部に直接或いは伝熱材を介して熱的に接触する構成、或いは液体窒素、液体ヘリウム、ガス窒素、ガスヘリウムのいずれかを介して冷凍機の冷却部に間接的に接触する構成であることを特徴とする請求の範囲第1項、第2項または第3項記載の超電導永久磁石装置。
6. 前記冷凍機は、GM式、パルス管式、スターリング式、ソルベー式或いはそれらを複数種組み合わせた構成で、絶対温度4 Kないし90 Kの温度範囲に前記磁極を冷却保持する極低温冷凍機であって、磁極を励磁する際に、励磁のための磁場によって冷凍機を構成する強磁性部材がその機能を妨げられない位置まで該磁極から隔離して配設されていることを特徴とする請求の範囲第5項記載の超電導永久磁石装置。

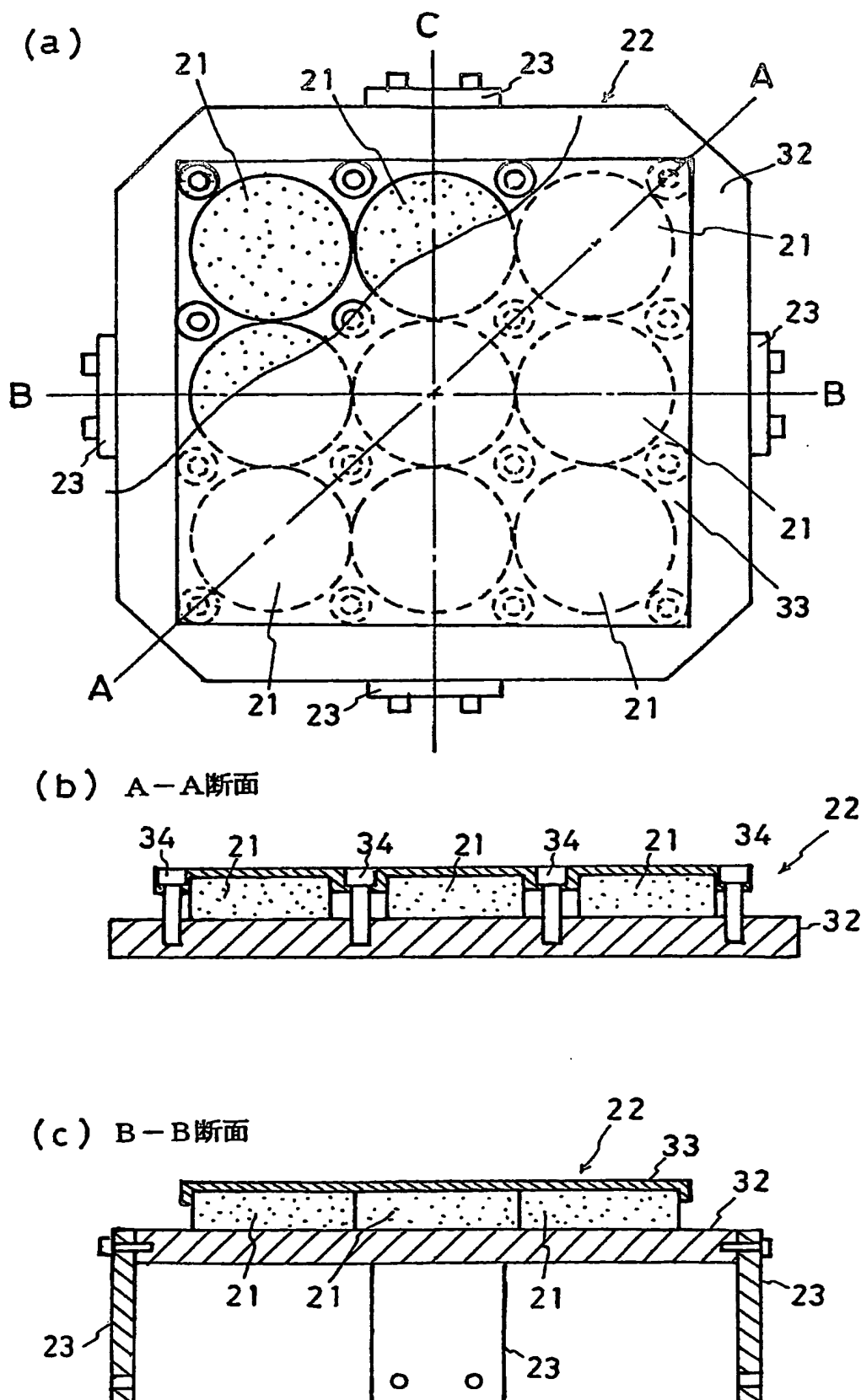
第 1 図



第 2 図

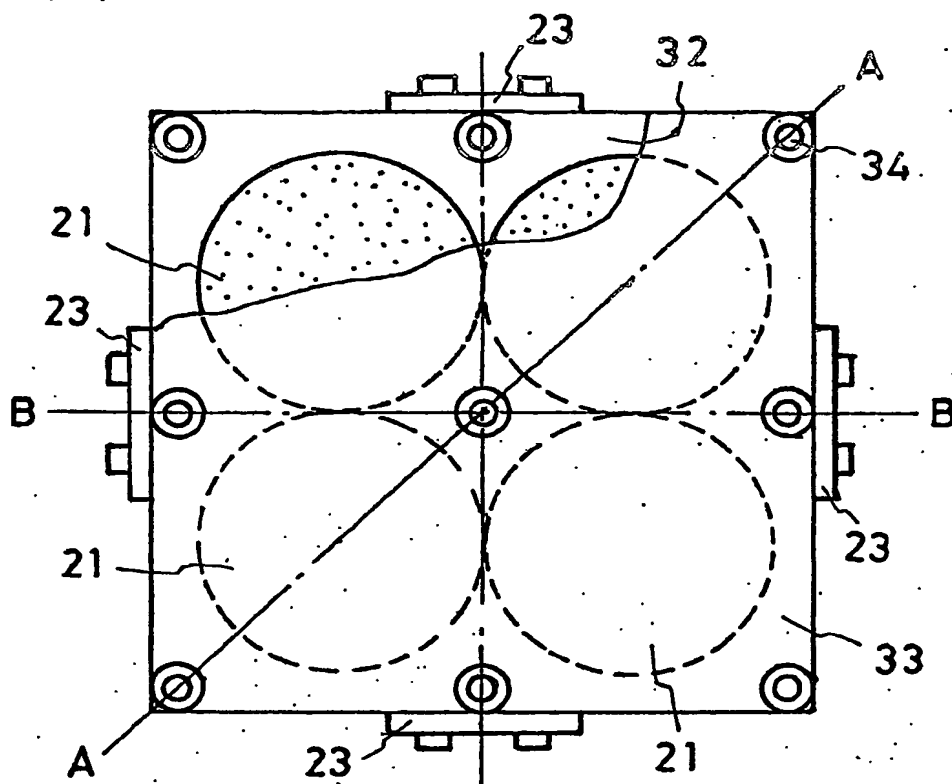


第3図

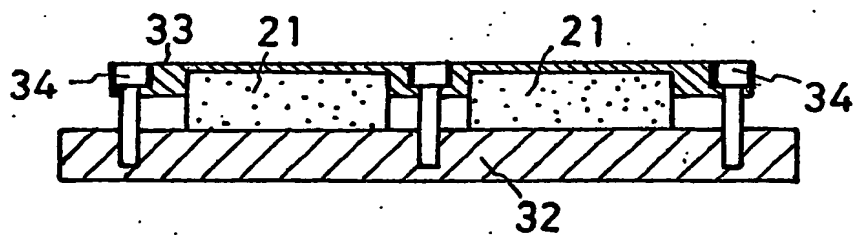


第4図

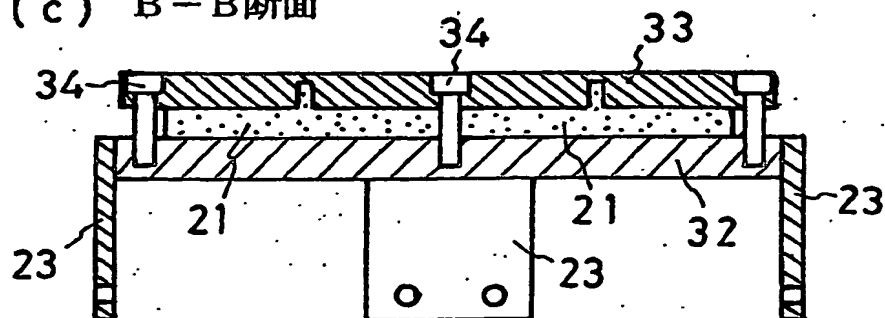
(a)



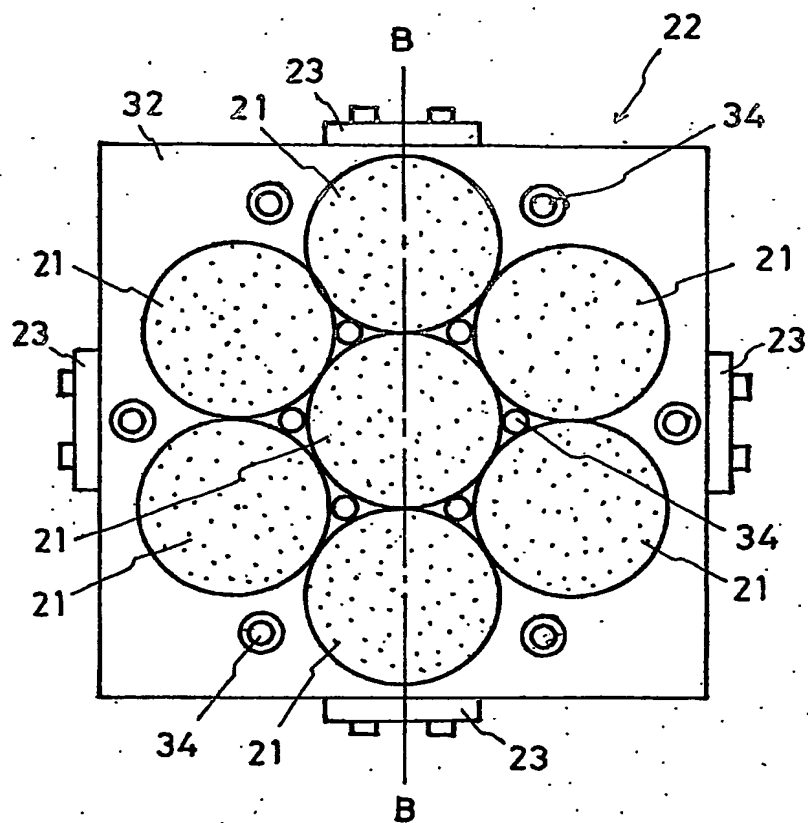
(b) A-A断面



(c) B-B断面

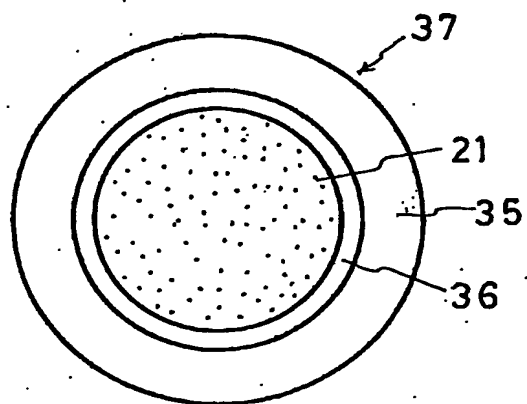


第5図

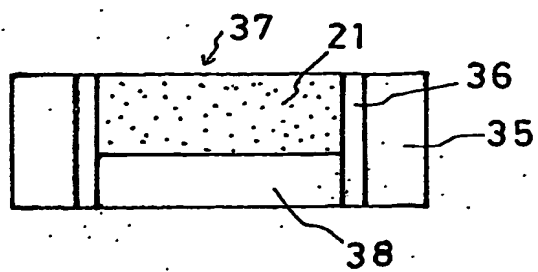


第6図

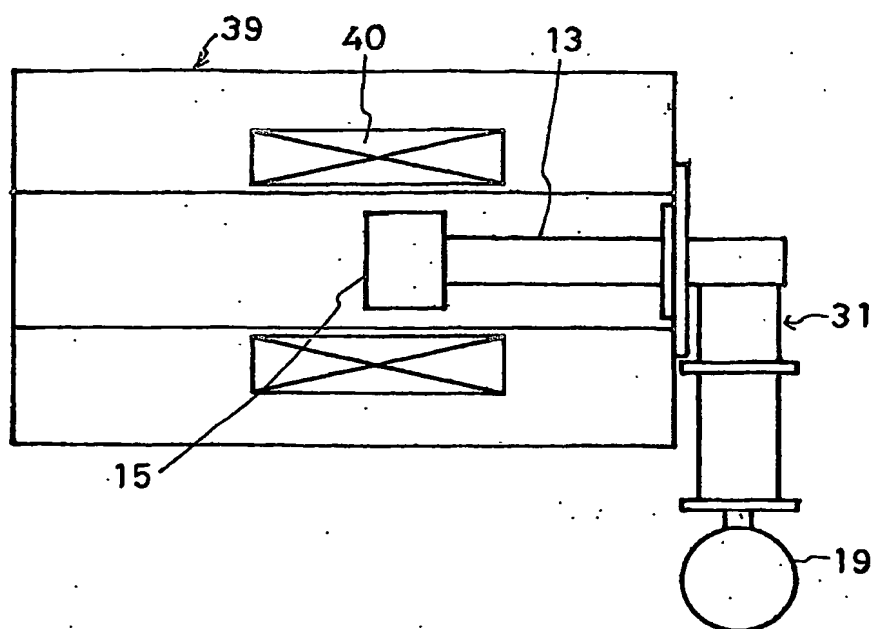
(a)



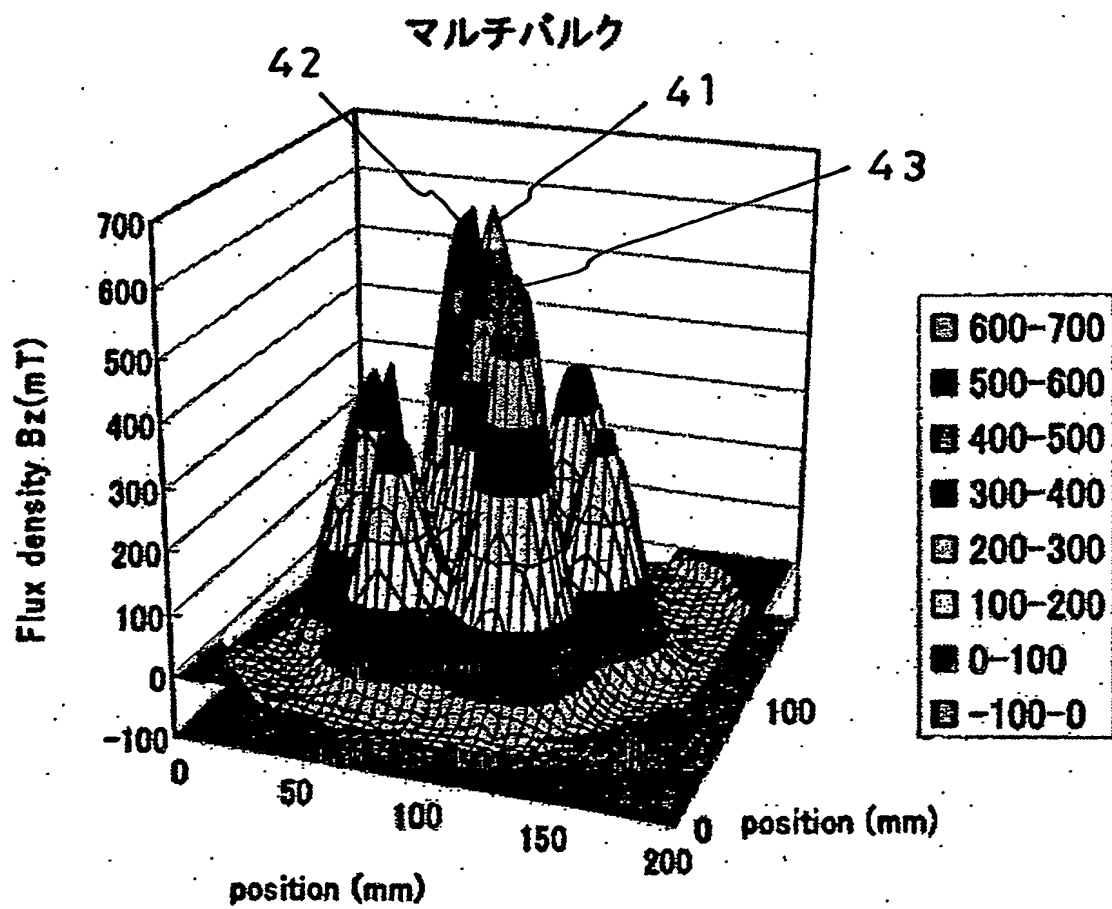
(b)



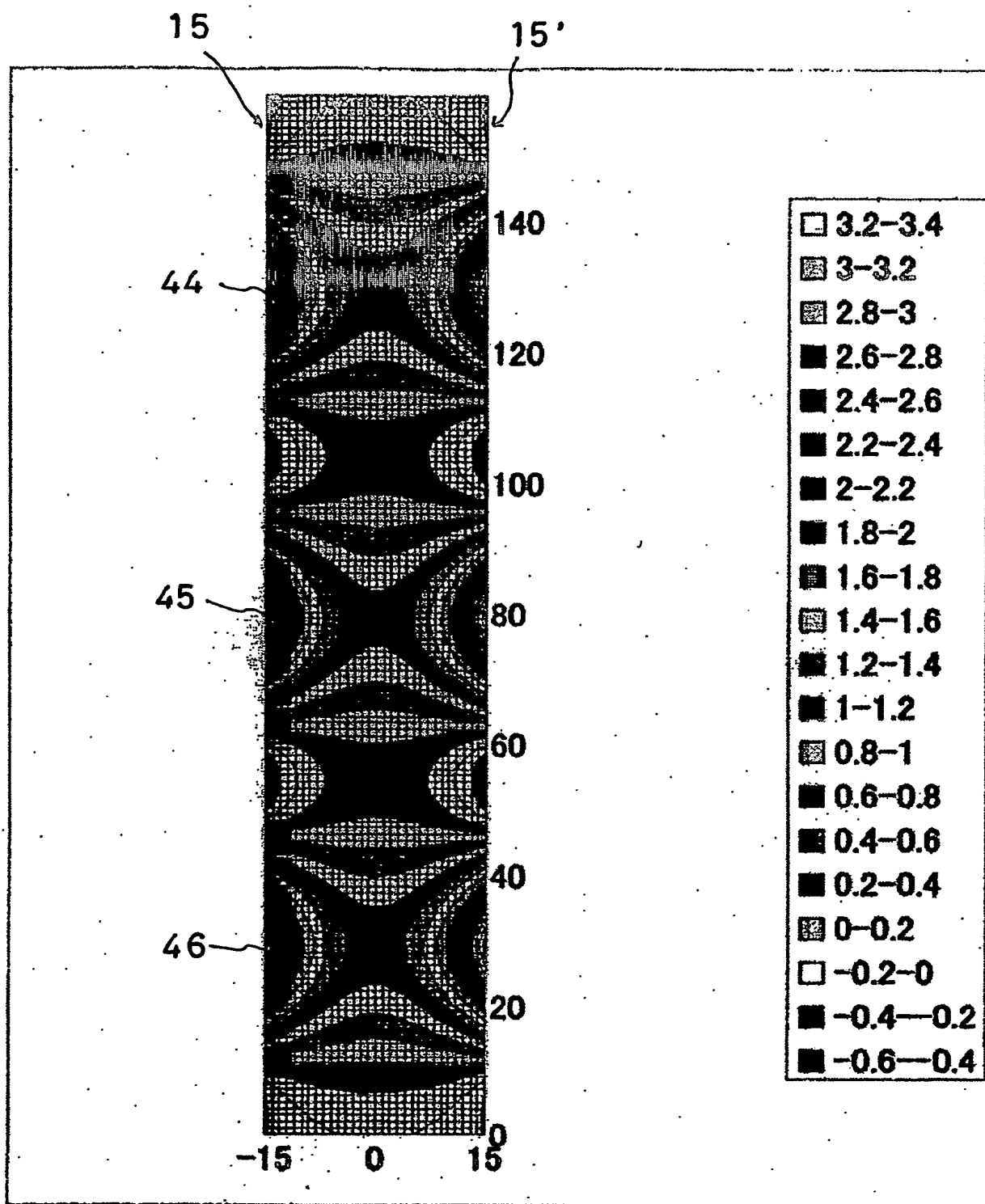
第7図



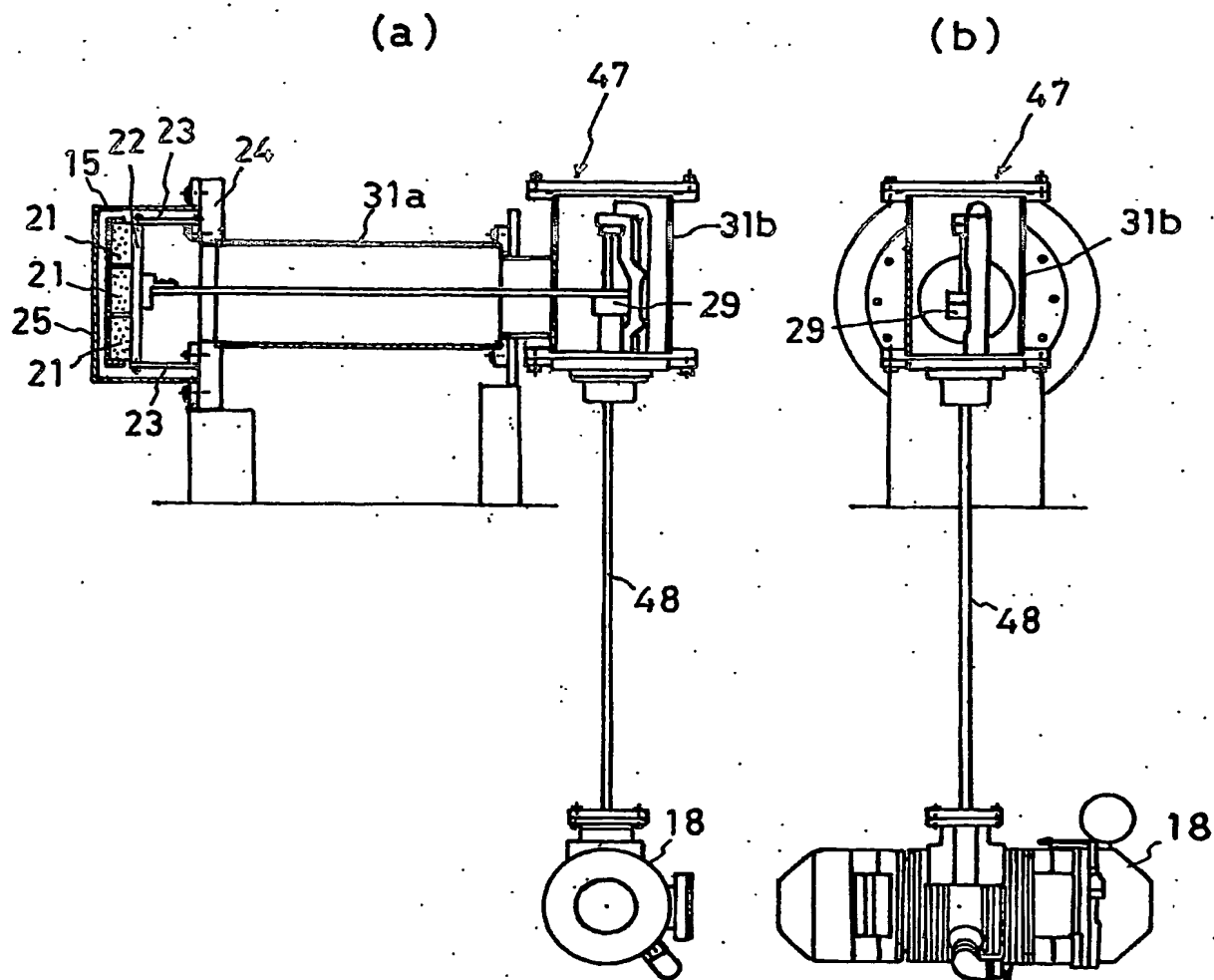
第8図



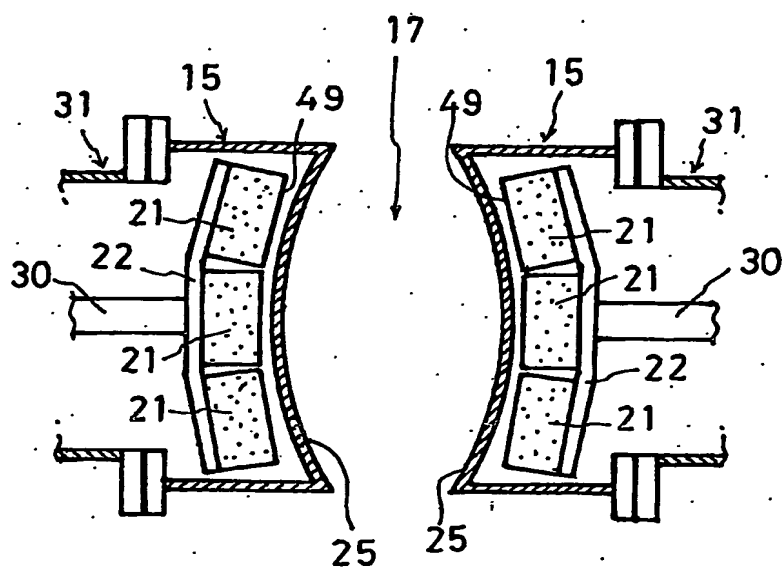
第9図



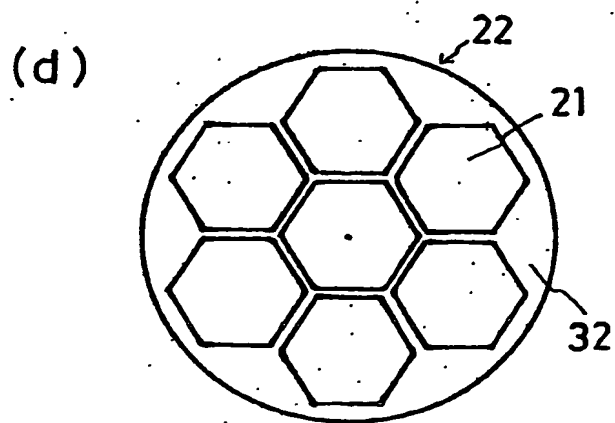
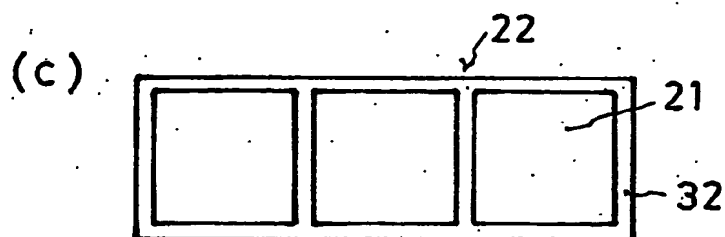
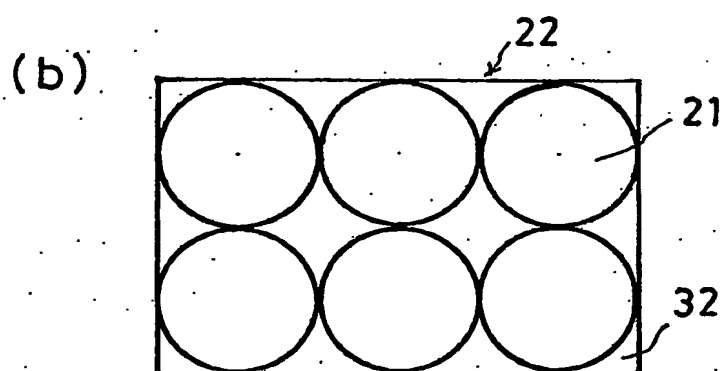
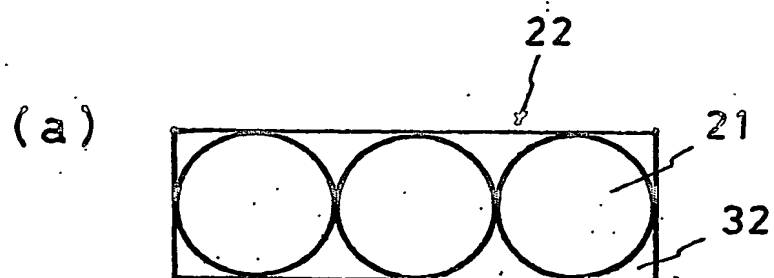
第 10 図



第 11 図



第 1 2 図



符号の説明

- 1 1 超電導永久磁石装置
- 1 2 架台
- 1 3 磁極アッシ
- 1 5 真空容器
- 1 7 磁場空間
- 1 8 パルス管冷凍機
- 2 0 移動機構
- 2 0 a ハンドル
- 2 1 超電導バルク体
- 2 2 磁極
- 2 3 樹脂系構造部材
- 2 4 固定フランジ
- 2 5 真空容器表面
- 2 6 真空フランジ
- 2 7 真空ポート
- 2 8 センサ電極
- 2 9 冷凍部
- 3 0 伝熱体
- 3 1 真空筒
- 3 1 a、3 1 b、3 1 c 真空筒
- 3 2 磁極台
- 3 3 ホルダ板
- 3 4 ネジ
- 3 5 ステンレスリング
- 3 6 低温用樹脂系充填接着剤
- 3 7 超電導バルク磁石
- 3 8 ステンレス板
- 3 9 超電導磁石
- 4 0 超電導コイル
- 4 1, 4 2, 4 3 ピーク
- 4 4, 4 5, 4 6 最大ピーク
- 4 7 磁極アッシ
- 4 8 細管
- 4 9 磁場発生面
- 5 0 連結部品

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005909

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01F6/06, 13/00, H01L39/04, H01B12/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01F6/06, 13/00, H01L39/04, H01B12/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-222709 A (Kabushiki Kaisha Imura Zairyo Kaihatsu Kenkyusho), 09 August, 2002 (09.08.02), Full text; Fig. 3 (Family: none)	1-10
Y	JP 2000-277333 A (Aisin Seiki Co., Ltd.), 06 October, 2000 (06.10.00), Par. Nos. [0066] to [0067]; Fig. 12 (Family: none)	1-10
Y	JP 11-335120 A (Nippon Steel Corp.), 07 December, 1999 (07.12.99), Full text; Fig. 2 (Family: none)	3, 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 June, 2004 (03.06.04)Date of mailing of the international search report
22 June, 2004 (22.06.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005909

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-255713 A (Kobe Steel, Ltd.), 01 October, 1996 (01.10.96), Par. No. [0003] (Family: none)	4
Y	JP 9-64426 A (Hitachi, Ltd.), 07 March, 1997 (07.03.97), Par. Nos. [0016] to [0017] (Family: none)	10
Y	JP 63-260007 A (Hitachi, Ltd.), 27 October, 1988 (27.10.88), Page 4, upper right column (Family: none)	10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01F 6/06, 13/00, H01L 39/04, H01B 12/00		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01F 6/06, 13/00, H01L 39/04, H01B 12/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-222709 A (株式会社イムラ材料開発研究所) 2002. 08. 09, 全文, 図3 (ファミリーなし)	1-10
Y	J P 2000-277333 A (アイシン精機株式会社) 2000. 10. 06, 段落【0066】-【0067】 図12 (ファミリーなし)	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	03. 06. 2004	国際調査報告の発送日
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 鈴木 匡明 5 R 3142 電話番号 03-3581-1101 内線 3565

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 11-335120 A (新日本製鐵株式会社) 1999. 12. 07, 全文, 図2 (ファミリーなし)	3, 9
Y	J P 8-255713 A (株式会社神戸製鋼所) 1996. 10. 01, 段落【0003】 (ファミリーなし)	4
Y	J P 9-64426 A (株式会社日立製作所) 1997. 03. 07, 段落【0016】 - 【0017】 (ファミリーなし)	10
Y	J P 63-260007 A (株式会社日立製作所) 1988. 10. 27, 第4頁右上欄 (ファミリーなし)	10